

© П.М. ГОРЯИНОВ, Д.Г. ЕГОРОВ, Г.Ю. ИВАНЮК

**О СТРУКТУРНО-ВЕЩЕСТВЕННОЙ САМООРГАНИЗАЦИИ
В АРХЕЙСКИХ ЖЕЛЕЗОРУДНЫХ АНСАМБЛЯХ
(КОЛЬСКИЙ ПОЛУОСТРОВ)**

(Представлено академиком Н.А. Шило 14 XII 1991)

Железорудные формации докембрия фокусируют проблемы архейской литологии, тектоники, геодинамики, по существу остаются ключевым объектом докембрийской проблематики. Однако при гигантском объеме накопленных за последние 30—40 лет данных нет заметного прироста принципиально нового знания о генезисе этих формаций. Причина этого очевидного кризиса коренится в исчерпании классической парадигмы геологии, ее ресурсов и методологических возможностей. Последние основаны на линейно-актуалистическом подходе к изучению нелинейной природы. Характерным следствием такого подхода к исследованию неоднородно-слоистых сред является презумпция разновозрастности смежных слоев. На этом основаны как стратиграфические схемы, так и базирующиеся на них тектонические модели. Так, наличие во всех породах джеспилитового семейства контрастной многоуровневой слоистости (здесь и в дальнейшем термины "слоистость", "полосчатость" отражают лишь текстурно-геометрический мотив, но не несут генетической нагрузки) традиционно рассматривается как безусловное подтверждение этого постулата и априорно распространяет механизм осадконакопления в водной среде на эти комплексы.

Принято считать, что возникшая таким образом породная последовательность обладала самым высоким в своей истории порядком, который в дальнейшем, в процессе диагенеза, метаморфизма, тектонических явлений, якобы постоянно утрачивается, ибо подразумевается, что система эволюционирует в сторону равновесия по пути больцмановского возрастания энтропии. Отсюда основной целью исследования и сущностью знания традиционно признаются всевозможные реконструкции — воссоздание ненаблюдаемых процессов по их результату и "ликвидация" их многочисленных последствий. Эта логика справедлива лишь при том условии, если вещественная и структурная организации разновозрастны и независимы. Иными словами, она справедлива для систем, которые пассивно реагируют на внешнее воздействие.

Исследования авторов показали, что эволюция докембрийских железорудных систем иная: само вещество и его структурная организация неотделимы друг от друга, взаимоувязаны, когерентны и синхронны. Кроме того, установлено, что тектонические процессы приводят не к деструктивным изменениям, а к упорядочению.

При детальном изучении строения железистых кварцитов Печегубского месторождения (Оленегорский район) обнаружилась удивительная когерентность свойств самой разной природы: химического и минерального составов, "интенсивности" складчатости (угла раскрытия мелких складок) кварцитов, магнитной анизотропии и твердости магнетита [1] (рис. 1). Картину дополняет результирующая кривая

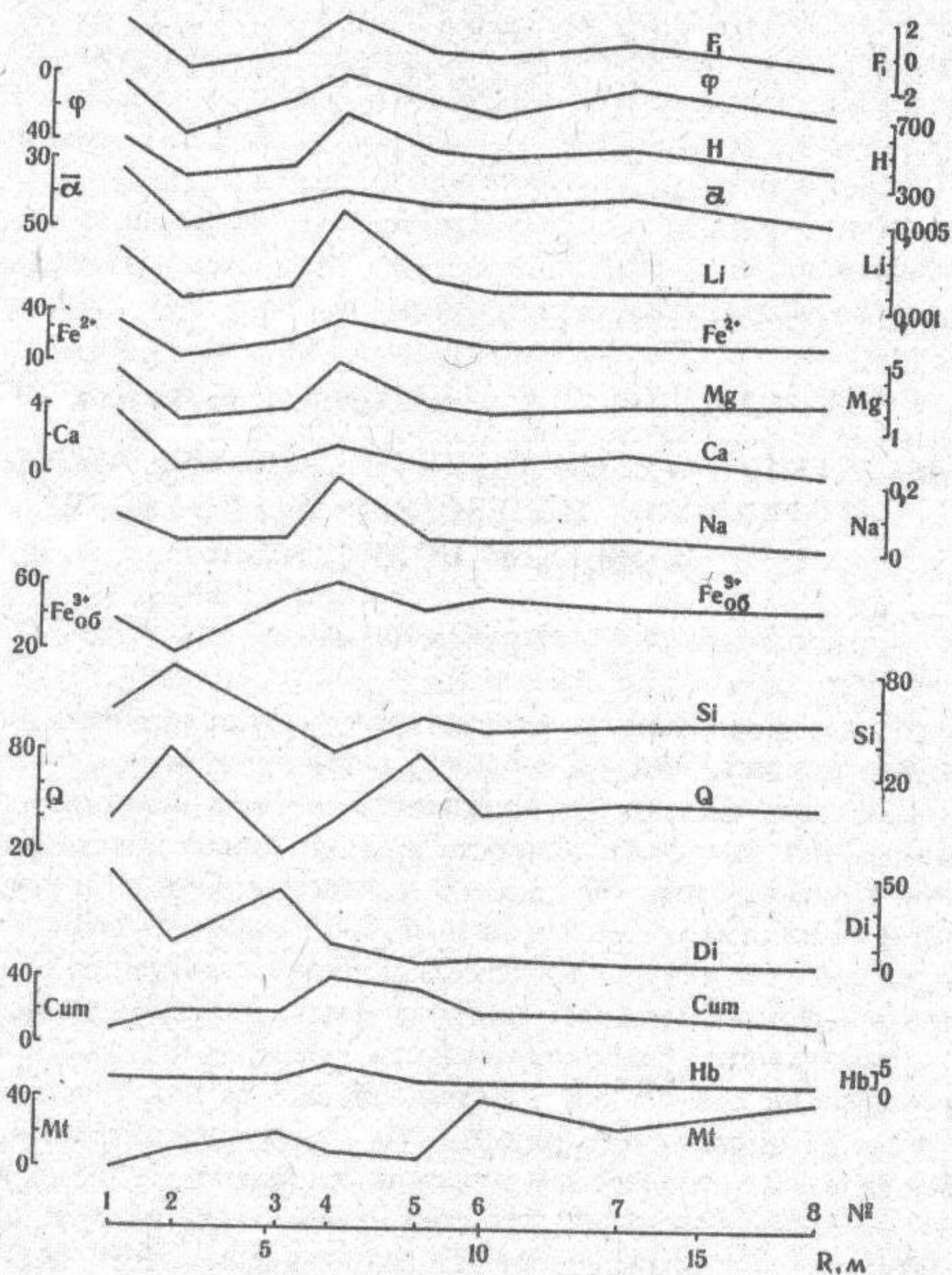
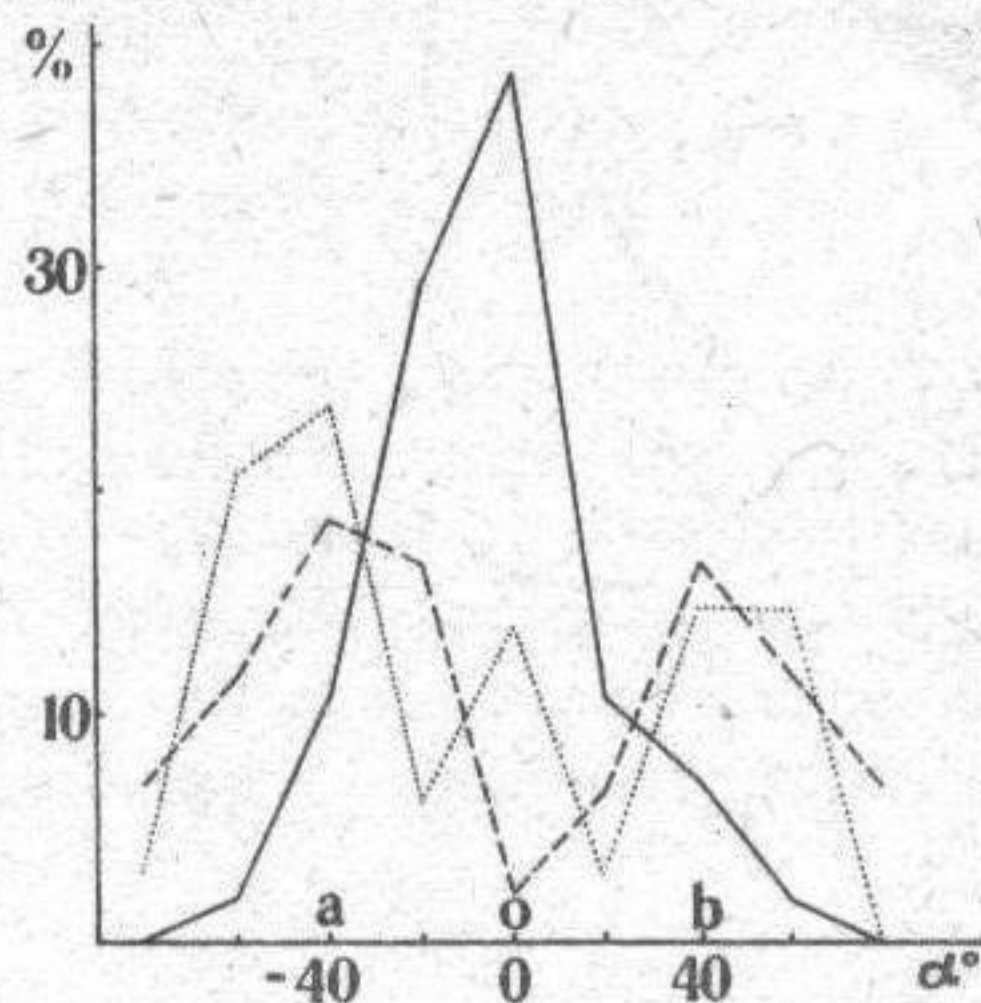


Рис. 1. Изменение состава и свойств железистых кварцитов Печегубского месторождения от контакта с вмещающими породами ($R = 0$ м) к оси рудного тела ($R = 18$ м). F_1 — величина первого фактора: $F_1 = (H, Li, Fe^{2+}, Mg, Ca, Na)/\bar{\alpha}$, φ , полученного при факторном анализе входящих в него переменных, %: φ — угол раскрытия складок, H — микротвердость магнетита, кГ/мм^2 ; $\bar{\alpha}$ — среднеарифметическая величина угла отклонения векторов намагниченности зерен магнетита от направления полосчатости, вычисленная по формуле $\bar{\alpha} = (|\alpha_1| + |\alpha_2| + \dots + |\alpha_n|)/n$, где $|\alpha_n|$ — модальные величины углов, измеренных для отдельных зерен, градусы; $Li, Fe^{2+}, Mg, Ca, Na, Fe_{об}^{3+}, Si$ — содержания соответствующих оксидов в составе кварцитов, мас.%; Q, Di, Cum, Hb, Mt — содержания кварца, диопсида, куммингтонита, роговой обманки и магнетита соответственно, об.%; 1–8 — номера проб

первого фактора, полученная при факторном анализе вышеупомянутых данных. Статистический вес этого фактора, равный 78,5%, свидетельствует о достаточно высоком уровне когерентности этих свойств, природа которых формально имеет разное происхождение. Это заставляет искать иное объяснение природе складчатых узоров, отличное от пассивно-деформационных моделей ("изгибы вторичны относительно прямополосчатых текстур").

В справедливости подобного заключения нас убедило исследование анизотропии магнитных свойств магнетита в складчатых и прямополосчатых кварцитах. Для этого были использованы нематические жидкие кристаллы [2], что позволило определять направления намагниченности зерен магнетита непосредственно в шлифах. Оценка симметрии намагниченности производилась по углу α между направле-

Рис. 2. Распределения векторов намагниченности зерен магнетита относительно направления полосчатости ($\alpha_0 = 0$). Пояснение в тексте



нием метаморфической полосчатости и положением оптической оси N_g жидкого кристалла. Анализ пространственного распределения векторов намагниченности зерен (рис. 2) показал, что подавляющая часть образцов характеризуется бимодальными распределениями α , максимумы которых симметричны относительно направления полосчатости ($\alpha_0 = 0$); максимумам отвечают значения $\alpha_a = +45^\circ$ и $\alpha_b = -45^\circ$. В меньшей части железистых кварцитов направления намагниченности магнетитовых зерен лежат в плоскости слоистости; на вариационных кривых α здесь наблюдается единственный максимум при $\alpha_0 = 0$. Некоторое количество образцов характеризуется тримодальными распределениями α с максимумами при $\alpha_{a, b} = \pm 45^\circ$ и $\alpha_0 = 0$.

Одномодальное распределение α характерно почти исключительно для прямополосчатых кварцитов: только 13% из них имеют плейчатую текстуру. Наоборот, 90% образцов с бимодальными распределениями α плейчатые. Железистые кварциты, в которых зерна магнетита намагничены в трех направлениях, обладают текстурами смешанного типа.

Согласно Г. Хакену [3], бимодальные распределения подобного типа характеризуют более упорядоченное состояние системы, чем одномодальные. Резюмируем. Хаотизация (образование складок в общепринятой версии) на макроуровне сопровождается не падением, а ростом упорядоченности на микроуровне (переход с одно- на бимодальное распределение векторов намагниченности): Выход из данного противоречия один: признать, что данная складчатость не является деструктивной, поскольку складчатые разновидности не могут быть результатом пассивного изменения прямополосчатых. Напрашивается аналогия с переходом от ламинарного характера движения к турбулентному, который, согласно Ю.Л. Климонтовичу [4], представляет собой процесс самоорганизации, возрастания упорядоченности.

Если этот вывод верен, то признаки самоорганизации должны обнаружиться и на последующих уровнях, минеральном и геохимическом. По нашим данным, за наведение рассмотренных выше типов магнитной анизотропии ответствен процесс магнитного отжига [5], который управлялся двумя конкурирующими факторами: "стратификационным" и "складчато-деформационным". Напомним, что магнитный отжиг в ферритах обусловлен перераспределением возникающих вакансий и ионов двухвалентного железа. Следовательно, в высокометаморфизованных железистых кварцитах можно ожидать широкое распространение железододефицитного магнетита. Так, в 70% образцов обнаружено наличие железододефицитного кеномагнетита [6], а в 30% кеномагнетит сосуществует со второй, высокожелезистой магнетитовой фазой (с собственно магнетитом?). При этом 91% пород, содержащих обе фазы, имеют прямополосчатую текстуру, а 81% железистых кварцитов с единственной кеномагнетитовой фазой — плейчатую. Наблюдается весьма своеобразное соотноше-

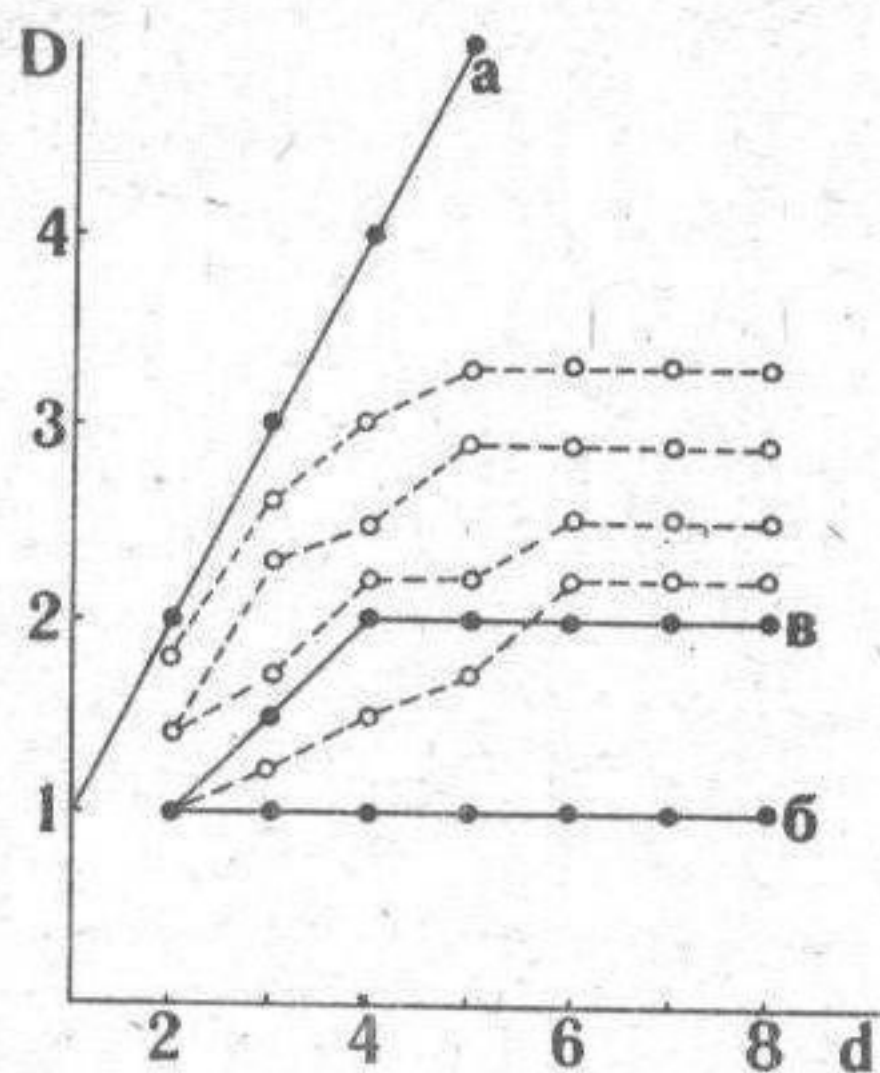


Рис. 3. Зависимость хаусдорфовой размерности D от числа фазовых переменных d для последовательностей значений магнитной восприимчивости железистых кварцитов (светлые кружки), гауссова белого шума (а), периодической функции $y = \sin x$ (б) и квазипериодической последовательности (в)

ние составов сосуществующих магнетитовых фаз: количество примеси i уменьшается в кеномагнетите, если магнетит содержит ее в количестве, большем некоторого значения N_i (составляющего 0,14% для Mn, 0,04% для Mg и т.д.), и увеличивается, если содержание ее в магнетите меньше N_i .

Если определить энтропию как меру числа доступных микросостояний системы, становится ясно, что в данном случае, при переходе от магнетита к кеномагнетиту, происходит ее уменьшение, т.е. налицо упорядочение. Это согласуется со сделанным выше заключением об организующей роли складкообразования в эволюции железистых кварцитов, которая выпадает из поля зрения классической деформационной тектоники, не учитывающей главного свойства рассматриваемых ансамблей — когерентности свойств различной природы. Например, было показано [7], что даже такие традиционные стереотипы наложенных явлений, как дизъюнктивы, интрузии и дайки, а также метасоматоз не являются деструктивными процессами, а зачастую даже координируют явно "первичные" свойства: аутигенную зональность, слоистость и т.п.

Таким образом, железорудные ансамбли в их наблюдаемом современном виде представляют собой целостные гармонические объекты, а не руины некогда упорядоченных конструкций. Это требует принципиально иного подхода к их изучению. В качестве примера такого подхода можно привести анализ динамических систем, основанный на исследованиях Ф. Такенса [8], который показал, что по последовательности значений одного параметра удается определить такие важные характеристики системы, как хаусдорфова размерность D^* ее аттрактора (если он существует) и количество независимых переменных, участвующих в процессе. Данный подход мы применили к изучению кривых кажущейся магнитной восприимчивости, полученных при магнитном каротаже рудных тел Кировогорского и Комсомольского месторождений (Оленегорский район). На рис. 3 приведены кривые изменения D при увеличении числа возможных фазовых переменных d . Значение d^* , начиная с которого D перестает изменяться, показывает число независимых параметров, определяющих динамику данной системы. А именно такое значение D и является хаусдорфовой размерностью аттрактора D^* .

В исследованных случаях значения D^* лежат в пределах от 2,2 до 3,6; это означает, что мы имеем дело с детерминированно-хаотическими диссипативными структурами, математически описываемыми странными аттракторами малой размерности. Замечательно, что такая сложная динамика рудообразующих систем обусловлена изменением небольшого (от 3 до 6) числа независимых переменных, конкретная природа которых пока не ясна. Для сравнения на том же рисунке показаны изменения D с увеличением размерности фазового пространства d в случаях, когда

последовательность отвечает белому шуму (недетерминированному, или больцмановскому, хаосу), периодическому ($D^* = 1$) и квазипериодическому ($D^* = 2$) процессам.

Полученные результаты свидетельствуют о том, что железорудные ансамбли архея в их современном виде — результат сложной динамики самоорганизующихся рудообразующих систем, неотъемлемыми частями которой являются и процессы минералообразования, и структурирование во всем его многообразии форм, и метасоматоз. Выяснение же, какие из факторов решающие, определяющие поведение системы, а также конкретных механизмов самоорганизации, — дело будущих исследований.

Геологический институт Кольского научного центра
Российской Академии наук, Апатиты Мурманской обл.

Поступило
24 XII 1991

ЛИТЕРАТУРА

1. *Иванюк Г.Ю., Никитин И.В.* Рудогенез в метаморфических комплексах докембрия. Апатиты, 1991, с. 54–61.
2. *Иванюк Г.Ю., Томилин М.Г.* — Зап. ВМО, 1990, вып. 3, с. 95–98.
3. *Хакен Г.* Синергетика. М.: Мир, 1980. 406 с.
4. *Климонтович Ю.Л.* Турбулентное движение и структура хаоса. М.: Наука, 1990. 300 с.
5. *Тюремнов В.А., Балабонин Н.Л., Иванюк Г.Ю.* Тез. докл. VIII Всес. совещ. по физическим свойствам горных пород при высоких давлениях и температурах. Уфа, 1990, ч. 2, с. 25–26.
6. *Балабонин Н.Л. и др.* Тез. докл. выездной сессии Всес. минерал. об-ва. Апатиты, 1990, с. 35–36.
7. *Горяинов П.М., Балабонин Н.Л.* Структурно-вещественные парагенезисы железных руд докембрия Кольского полуострова. Л.: Наука, 1988. 144 с.
8. *Шустер Г.* Детерминированный хаос. М.: Мир, 1988. 240 с.